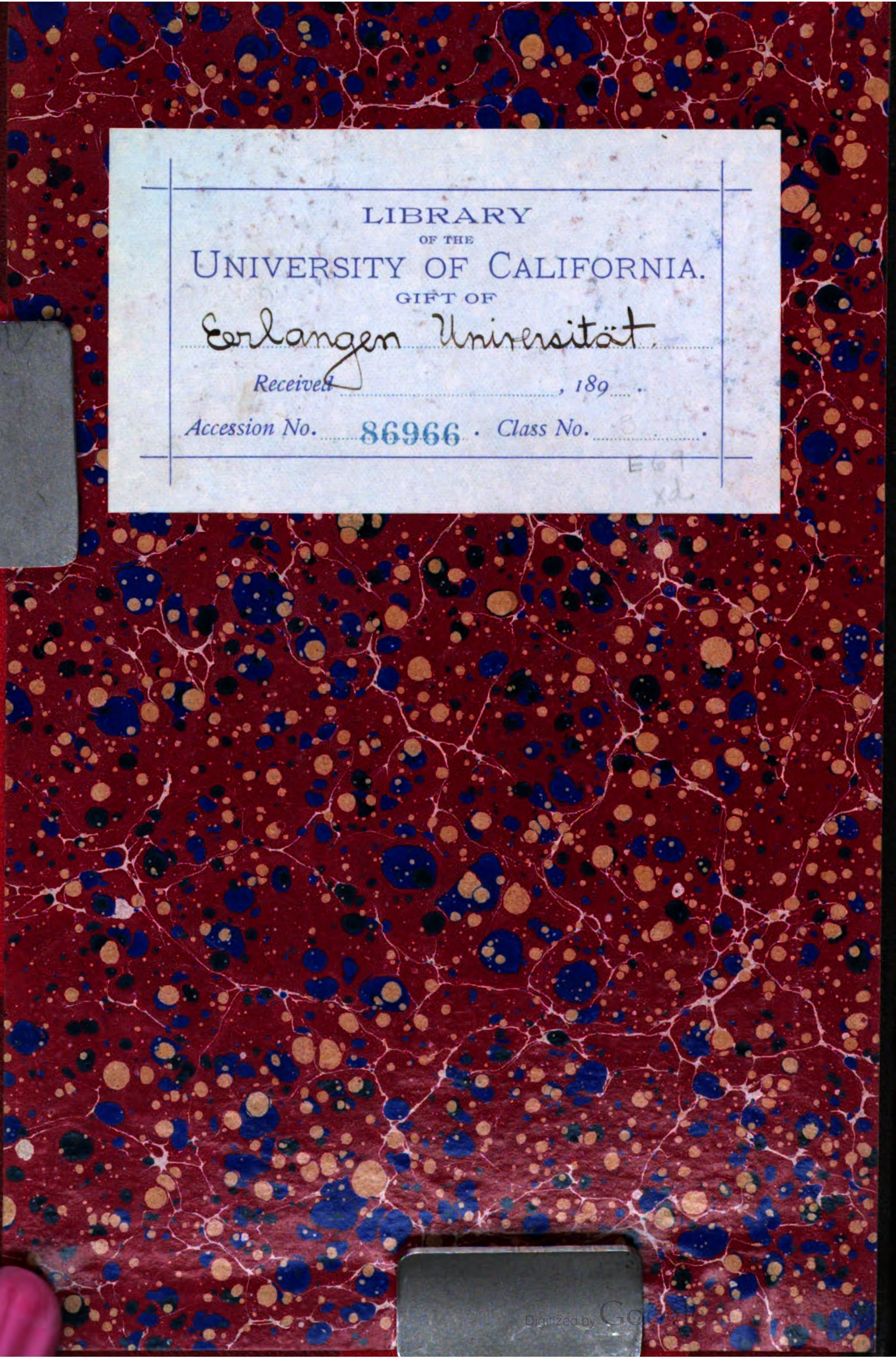
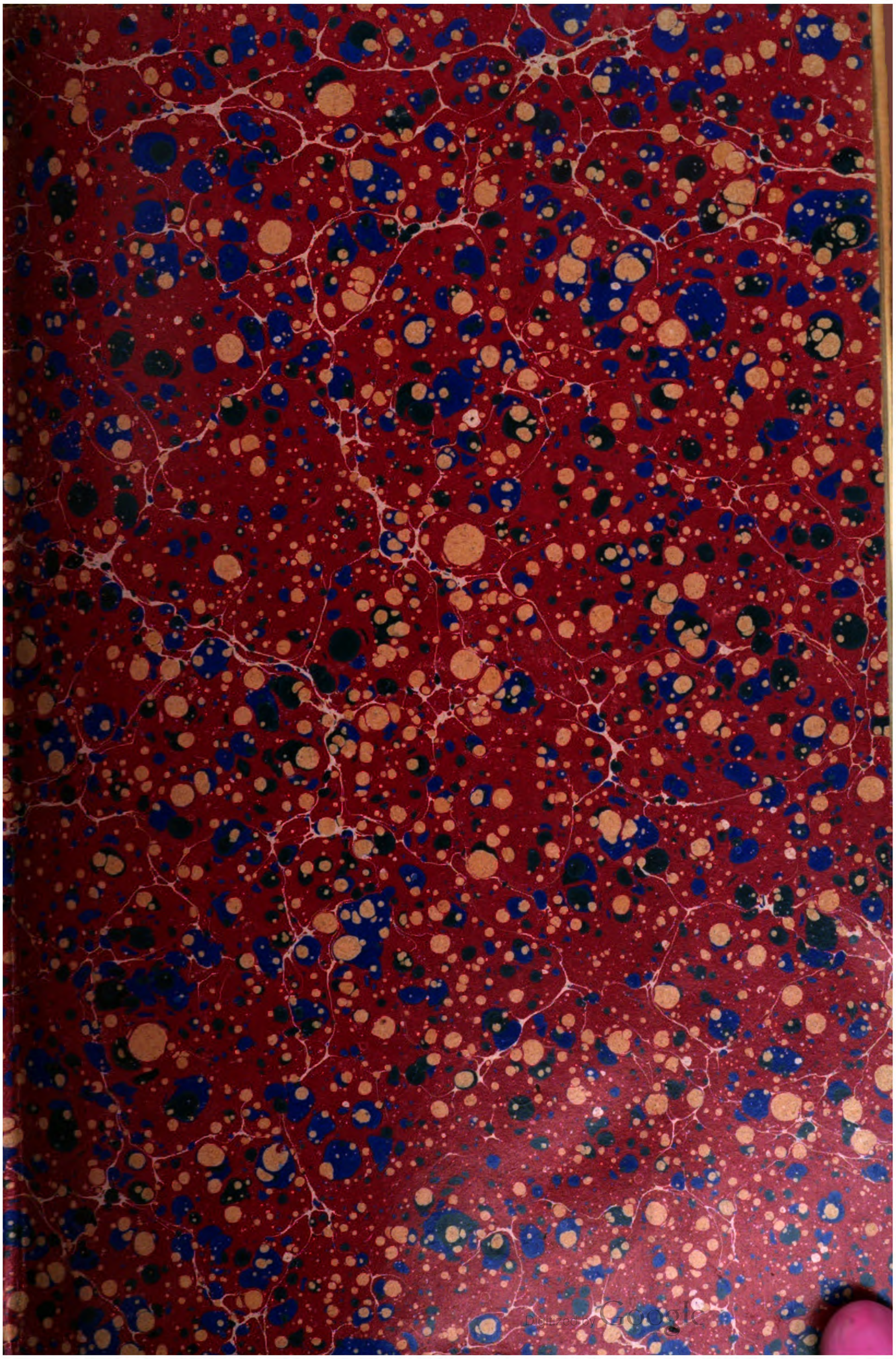




2.

Über Abhängigkeit des Laubblattes von seiner Assimilationsthätigkeit.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

kgl. bayer. Friedrich-Alexanders-Universität zu Erlangen

vorgelegt von

Curt Vogt

aus Eisenach (Sachsen-Weimar).

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 1898.

Erlangen.

K. b. Hofbuchdruckerei von August Vollrath.

1898.

Gedruckt mit Genehmigung der
hohen philosophischen Fakultät Erlangen.

Dekan: Herr Professor Dr. Pöhlmann

Referent: Herr Professor Dr. Reess.

Seiner lieben Mutter

in

Dankbarkeit gewidmet

vom

Verfasser.

Inhalt.

Einleitung.

Hatte man früher allgemein als feststehende Thatsache angenommen, dass das Laubblatt zur Erhaltung seiner eigenen Lebensfähigkeit auch unbedingt der eigenen Assimilationsthätigkeit bedürfe, so haben die Arbeiten verschiedener Autoren, welche sich mit dieser Frage in den letzten Jahren beschäftigten, die Ansichten darüber in neue Bahnen gelenkt. Schon Th. de Saussure hatte gezeigt, dass die Blätter eines abgeschnittenen Zweiges eine begrenzte Zeit sich sehrwohl ohne ihre Assimilationsthätigkeit zu erhalten vermögen. Sodann hatte Corenwinder die Versuche Saussure's wiederholt mit dem Ergebnis, dass die Blätter auch im kohlensäurefreien Raum zu voller Entwickelung gelangen können. In neuerer Zeit haben sich Vines, Vöchting, Jost und Max Dougal mit dieser Frage beschäftigt. Vines gelangte mit Hilfe seiner Versuche zu dem Resultat, dass die Blätter wuchsen, obwohl sie nicht assimilieren konnten. Vöchting sagt am Schluss seiner Arbeit, dass das Leben des ausgebildeten Laubblattes an seine Assimilationsthätigkeit und zwar unmittelbar geknüpft sei. Doch nicht blos das ausgewachsene, auch

das sich entwickelnde Blatt ist von seiner Assimilationsthätigkeit abhängig, doch unterscheidet er hier zwei Stadien. „Das erste, (ich führe hier seine eigenen Worte an), in welches die Anlage des Blattes am Vegetationspunkt, seine nächste Gestaltung, beim zusammengesetzten Blatt die Anlage und erste Ausbildung seiner Seitenglieder fällt, ist nicht an den Assimilationsprozess gebunden. Das zweite aber, welches sich hauptsächlich als das der Entfaltung, der Flächen- und Volumzunahme darstellt, steht im Abhängigkeitsverhältnis zu jenem Prozess. Wird derselbe verhindert, so erlangt das Blatt seine normale Gestalt nicht, selbst wenn es ein beträchtliches Wachstum zeigt."

Jost kommt mit Hilfe seiner Versuche zu folgendem Resultat und stellt folgende Thesen auf:

„Das im Dunkeln gebildete und im Dunkeln bleibende Blatt kann, ohne zu assimilieren, normale Grösse und Funktion erlangen.

Anders verhält sich das am Licht entstandene Blatt. Von dem Moment an, wo es sich entfaltet und ergrünt, vermag es dauernd nur unter solchen Bedingungen zu gedeihen, die ihm die Assimilation gestatten; es geht also sowohl im dunkeln Raum, als auch in kohlensäurefreier Luft am Licht zu Grunde.

Da nun, soweit wir wissen, das am Licht gebildete Blatt von dem im Dunkeln gebildeten sich nur durch den Besitz des Chlorophyllfarbstoffes unterscheidet, so muss dieser direkt von der Assimilationsthätigkeit abhängen, während das Blatt nur indirekt von derselben abhängt.

Man muss annehmen, dass das Chlorophyll, wenn es nicht assimilieren kann, pathologischen Veränderungen unterworfen ist, die dann ihrerseits zur Krankheit der chlorophyllführenden Zelle, schliesslich des ganzen Organs führen."

In letzter Zeit hat sich Max Dougal mit dieser Frage beschäftigt und kommt zu keinem einheitlichen Resultat, sondern zeigt vielmehr, dass verschiedene Pflanzenindividuen sich bei gestörter Assimilationsthätigkeit auch verschieden verhalten.

Meine Aufgabe war es nun, die bisher angestellten Versuche nachzuprüfen und neue Gesichtspunkte zu gewinnen, die zur Lösung der Frage eventuell würden beitragen können. Die Arbeiten der oben angeführten Autoren erstrecken sich auf die Beobachtung des Wachstums der Blätter im Dunkeln und in kohlensäurefreier Atmosphäre. Hierbei ist der anatomische Bau der Blätter sowohl wie auch die Inhaltstoffe in chemischer Hinsicht ganz unberücksichtigt gelassen worden.

Auch ist es bisher noch nicht aufgeklärt, wie die Spaltöffnungsapparate sich bei gehinderter Assimilationsthätigkeit der Blätter verhalten. Es ist namentlich von Stahl auf die Bedeutung der Spaltöffnungen für den Gasaustausch der Pflanze hingewiesen worden und Schellenberg behauptet, die Spalten seien im kohlensäurefreien Raum nicht imstande, sich zu öffnen.

Nach diesen Gesichtspunkten hin gliederte sich die Arbeit in folgende Teile:

A. Verhalten der Spaltöffnungen im Dunkeln und in kohlensäurefreier Atmosphäre.
B. Beobachtungen über das Wachstum einzelner Blätter im Dunkeln an entgipfelten Sprossen.
C. Beobachtungen über das Wachstum einzelner Blätter in kohlensäurefreier Luft an entgipfelten Sprossen.
D. Beobachtungen über das Wachsen von Keimpflanzen in kohlensäurefreier Atmosphäre.
E. Anatomie und Chemie der im Dunkeln und in kohlensäurefreier Luft gewachsenen Blätter.

Der besseren Übersicht wegen habe ich die dazu benutzte Litteratur am Ende dieser Arbeit alphabetisch zusammengestellt.

A. Verhalten der Spaltöffnungen im Dunkeln und in kohlensäurefreier Atmosphäre.

Mit Untersuchungen über das Verhalten der Spaltöffnungen haben sich hauptsächlich Schwendener, Leitgeb, Stahl und Schellenberg beschäftigt. Die Untersuchungen erstreckten sich zumeist auf Beobachtungen der Stomata im Dunkeln und nur Schellenberg untersucht dieselben auch in kohlensäurefreier Luft und sagt darüber folgendes:

„Schon aus der anatomischen Thatsache, dass die Schliesszellen gewöhnlich Chlorophyll führen, lässt sich vermuten, dass dieselben selbständig assimilieren können und dadurch ihren Turgor zu verändern imstande sind. Schwendener hat den Schliesszellen allein die Fähigkeit zugesprochen durch Assimilation ihren Turgor zu verändern und damit selbständig die Bewegungen der Spaltöffnungen herbeizuführen. Ist diese Argumentation richtig, dann müssen die Spaltöffnungen in einer kohlensäurefreien Atmosphäre nicht mehr funktionieren, weil sie keine Kohlensäure mehr

assimilieren können. Sie müssen also unter dieser Bedingung stets geschlossen sein."

Das Verhalten der Spaltöffnungen im Dunkeln ist nach den Angaben obengenannter Autoren bei den verschiedenen Pflanzen ein sehr verschiedenes. Bei Leitgeb lesen wir:

„Der grossen Anzahl von Pflanzen, bei denen man des Nachts die Spaltöffnungen geschlossen findet, steht eine nicht minder grosse Anzahl anderer gegenüber, bei welcher es zur Nacht zu keinem Spaltenverschluss kommt. Auch gegenüber einer künstlichen Verdunkelung verhalten sich nicht alle Pflanzen gleich; es kann zum Spaltenverschluss kommen, es kann dieser aber auch unterbleiben, und es gelingt bei manchen Pflanzen, das Öffnen und Schliessen der Spalten nach Belieben hervorzurufen."

Schellenberg schreibt in seiner Arbeit:

„Die Pflanzen sind verschieden empfindlich gegen Lichtwirkung, und wenn man eine Anzahl von Pflanzen aus dem Dunkel an's Licht bringt, so öffnen sie ungleich rasch ihre Spalten und ebenso bei Lichtentziehung schliessen sie sie ungleich rasch."

Die Untersuchungen waren bisher meistens angestellt worden an abgeschnittenen Blättern und von Schellenberg an einigen abgeschnittenen Pflanzen unter Quecksilberdruck. Ganze Pflanzen in Nährlösung oder in Töpfen waren fast nicht herangezogen worden. Mir schien es zweifelhaft, ob die Stomata an abgeschnittenen Blättern, an Sprossen unter Quecksilberdruck und an Topfpflanzen ein gleiches Verhalten zeigen sollten. Deshalb wurden die Untersuchungen nach diesen drei Richtungen hin vorgenommen. Man muss annehmen, dass durch Abschneiden der Blätter, was eine Aufhebung des Wurzeldruckes für dieselben bedeutet, oder durch Halten abgeschnittener Pflanzen unter Quecksilberdruck,

was einer Erhöhung des Wurzeldruckes gleichkommt, abnorme Verhältnisse für die Pflanzen geschaffen werden. Jedenfalls haben die Untersuchungen an ganzen Pflanzen im Topf oder Nährlösung am meisten Anspruch auf Richtigkeit, weil sie den Verhältnissen am besten entsprechen, unter denen sich die Pflanzen in der Natur befinden.

Über die bei der Untersuchung angewandte Methode sei in kurzen Worten folgendes gesagt: Die einzelnen Blätter befanden sich stets in einer feuchten Kammer, mit den Stielen oder der Basis in Wasser stehend. Die Verdunklung wurde durch schwarze Kästen aus Pappe bewirkt. Zur Herstellung der kohlensäurefreien Atmosphäre benutzte ich tubulierte Glasglocken, deren Tubus durch einen doppeltdurchbohrten Gummistopfen, in dessen Bohrungen sich rechtwinklig gebogene Glasröhrchen befanden, verschlossen wurde. Diese Glocken wurden durch einen dicken Ring von Glaserkitt luftdicht auf Glasplatten aufgekittet. Unter diese Glocken kamen die betreffenden Objekte. Die Kohlensäure wurde der Luft in den ersteren dadurch entzogen, dass dreimal am Tage mit der Saugpumpe ein Luftstrom durch die Glocken geleitet wurde. Dieser Luftstrom passierte vor Eintritt in die Glocken ein System von 6 Flaschen, von denen 5 mit einer Kalilauge, im Verhältnis von $1 + 1$ gelöst, gefüllt waren, während die 6. und letzte Flasche Barytwasser enthielt, welches zur Kontrolle über die Absorption der Kohlensäure diente.

Wir finden bei Stahl eine Methode zur Untersuchung der Spaltöffnungen angegeben, nämlich die Cobaltprobe. Doch Schellenberg verwirft dieselbe, indem er sagt:

> „Die Cobaltprobe ist nicht geeignet, in zweifelhaften Fällen zu entscheiden, ob die Spalten offen oder geschlossen sind.“

Aus diesem Grunde sah ich von der Anwendung derselben gänzlich ab und nahm die Untersuchungen vor an Querschnitten und Flächenschnitten der betreffenden Blätter. Um die Umrisse der Schliesszellen möglichst scharf hervortreten zu lassen, wurden die Schnitte mit einer schwachen wässerigen Safraninlösung tingiert und in destilliertem Wasser untersucht. Auch wurde die Reaktionsfähigkeit der Spaltöffnungen vorher an Flächenschnitten unter Deckglas durch Hinzutretenlassen von konzentriertem Glycerin geprüft. Zur Untersuchung diente ein Immersionssystem $^1/_{12}$ mm Ap. von Leitz. Die Messungen wurden vorgenommen an der Zentralspalte der Spaltöffnungen mit einem Mikrometerokular 0,1 mm, ebenfalls von Leitz, und die dabei gewonnenen Zahlen sind das Ergebnis von mindestens 12 Messungen, von denen dann der Durchschnitt genommen wurde.

Ich habe das Resultat der Untersuchungen in folgenden Tabellen zusammengestellt, und es ist vielleicht angebracht, die einzelnen Rubriken einer kurzen Besprechung zu unterziehen. In diesen Tabellen sind die Rubriken 3 und 4 die wichtigsten, denn nach der im Anfang dieses Kapitels zitierten Arbeit von Schellenberg entstand zunächst die Frage: Sind geschlossene Spaltöffnungen imstande, sich in kohlensäurefreier Luft am Licht zu öffnen? und: schliessen sich offene Spalten durch Entziehung der Kohlensäure? Dabei musste selbstverständlich auf das Verhalten der Spaltöffnungen am Licht und nach Verdunklung Rücksicht genommen werden, und die in den betreffenden Rubriken aufgeführten Zahlen sind wohl imstande Aufschluss darüber zu geben, ob die jeweilige Einwirkungsdauer der Licht- oder Kohlensäure-Entziehung eine genügende gewesen sei oder nicht.

Wurden die Blätter von belichteten Pflanzen untersucht, so fand ich die Stomata offen, mit Ausnahme von

Name der Pflanze	Teil der Pflanze	Direkt aus dem Licht untersucht		Nach 48stün- weilen im
		Spaltöffnungen	Weite d. Spalten	Spaltöffnungen
Dahlia variabalis	Blätter	geöffnet	0,0041 mm	geschlossen
	Spross unter Quecksilb.-Druck	„	0,0056 „	meist geschloss. einige geöffnet
	Pflanze im Topf	„	0,0041 „	geschlossen
Phaseolus multiflorus	Blätter	„	0,0039 „	Oberseite geschl. Unterseite einige geöffnet
	Spross unter Quecksilb.-Druck	„	0,0052 „	teils geschloss. „ geöffnet
	Pflanze in Nährlösung	„	0,0039 „	geschlossen
Iris germanica	Blätter	„	0,0062 „	meist geschloss. wenige geöffnet
	Pflanze im Topf	„	0,0062 „	geschlossen
Iris aurea	Spross unter Quecksilb.-Druck	„	0,0036 „	teils geschloss. „ geöffnet
Gladiolus floribundus	Blätter	„	0,0039 „	meist geschloss. einige geöffnet
	Pflanze unter Quecksilb.-Druck	„	—	teils geschloss. „ geöffnet
	Pflanze im Topf	„	—	geschlossen
Hemerocallis fulva	Blätter	„	?	geschlosseu
Pisum sativum	Pflanze in Nährlösung	„	0,0036 „	geschlossen

digem Verdunkeln	Nach 48stündigem Verweilen der verdunkelten Pflanzen in kohlensäurefreier Luft		Nach 48stündigem Verweilen der belichteten Pflanzen in kohlensäurefreier Luft	
Weite d. Spalten	Spaltöffnungen	Weite d. Spalten	Spaltöffnungen	Weite d. Spalten
—	geschlossen	—	geöffnet	0,0041 mm
0,0018 mm	teils geschloss. „ geöffnet	0,0022 mm	meist geöffnet einige geschloss.	0,0022 „
—	Oberseite geschl. Unters. geöffn.	0,0039 „	geöffnet	0,0039 „
0,0013 „	geschlossen	—	Oberseite geschl. Unterseite geöffn.	0,0039 „
0,0026 „	teils geschloss. „ geöffnet	0,0026 „	Oberseite geschl. Unterseite geöffn.	0,0039 „
—	meist geöffnet einige geschl.	0,0039 „	meist geöffnet wenige geschl.	0,0026 „
—	meist geschloss. wenige geöffn.	—	geschlossen	—
—	teils geschloss. „ geöffnet	0,0052 „	meist geöffnet wenige geschl.	0,0026 „
0,0032 „	meist geschloss. einige geöffnet	0,0013 „	geschlossen	—
0,0032 „	teils geschloss. „ geöffnet	0,0026 „	teils geschloss. „ geöffnet	0,0026 „
0,0039 „	meist geschloss. einige geöffnet	0,0026 „	meist geschl. einige geöffnet	0,0018 „
—	teils geschloss. „ geöffnet	0,0026 „	teils geschloss. „ geöffnet	0,0026 „
—	geschlossen	—	geschlossen	—
—	teils geschloss. „ geöffnet	0,0036 „	teils geschloss. „ geöffnet	0,0036 „

Name der Pflanze	Teil der Pflanze	Direkt aus dem Licht untersucht		Nach 48stün- weilen im
		Spaltöffnungen	Weite d. Spalten	[illegible]
Tradescantia ciliata	Blätter	geöffnet	0,0054 mm	geschlossen
	Spross unter Quecksilb.-Druck	geöffuet	0,0054 „	teils geschloss. „ geöffnet
Zea Mays	Pflanze in Nährlösung	geöffnet	0,0026 „	geschlossen
Ricinus communis	Pflanze in Nährlösnng	Obers. geöffnet Unters. geschl.	0,0078 „	geschlossen
Tropaeolum majus	Pflanze in Nährlösung	geöffnet	0,0032 „	geschlossen
Cucurbita Pepo	Pflanze in Nährlösung	geöffnet	?	geschlossen
Lathyrus tricolor	Pflanze in Nährlösung	geöffnet	?	geschlossen
Vicia faba	Pflanze in Nährlösung	geöffnet	0,0066 „	geschlossen
Aralia Sieboldi	Pflanze unter Quecksilb.-Druck	geöffnet	0,0026 „	meist geschloss. einige geöffnet
Sambucus niger	Pflanze unter Quecksilb.-Druck	geöffnet	0,0052 „	meist geschloss. einige geöffnet
Convallaria majalis	Pflanze im Topf	geöffnet	0,0018 „	geschlossen
Tulipa Gesneriana	Pflanze im Topf	geöffnet	0,0045 „	geschlossen
Hyacinthus	Pflanze im Topf	geöffnet	0,0039 „	geschlossen
Crocus	Pflanze im Topf	geöffuet	0,0026 „	geschlossen

digem Ver-Dunkeln	Nach 48stündigem Verweilen der verdunkelten Pflanzen in kohlensäurefreier Luft		Nach 48stündigem Verweilen der belichteten Pflanzen in kohlensäurefreier Luft	
Weite d. Spalten	Spaltöffnungen	Weite d. Spalten	Spaltöffnungen	Weite d. Spalten
—	geschlossen	—	meist geschloss. wenige geöffnet	—
0,0054 mm	teils geschloss. " geöffnet	0,0054 mm	meist geöffnet wenige geschl.	0,0054 mm
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0026 "	wenige geschl. meist geöffnet	0,0018 "
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0026 "	meist geöffnet wenige geschl.	0,0026 "
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0032 "	meist geöffnet wenige geschl.	0,0026 "
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0013 "	teils geschloss. " geöffnet	0,0013 "
—	teils geschloss. " geöffnet	?	teils geschloss. mehr geöffnet	?
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0065 "	meist geöffnet wenig geschl.	0,0066 "
—	geschlossen	—	geschlossen	—
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0032 "	teils geschloss. " geöffnet	0,0032 "
—	teils geschloss. " geöffnet	0,0018 "	geschlossen	—
—	Unters. geöffnet Obers. geschl.	0,0026 "	Obers. m. geschl. Unters. geöffnet	0,0026 "
—	geöffnet	0,0026 "	Obers. geschl. Unters. geöffnet	0,0026 "
—	meist geöffnet einige geschl.	0,0026 "	meist geöffnet einige geschl.	0,0026 "

Ricinus, welcher sie auf der Oberseite offen, auf der Unterseite geschlossen zeigte.

Nach 48stündiger Verdunkelung zeigten ungefähr alle Objekte das gleiche Verhalten, die Spalten sind meist geschlossen, und wo sie sich geöffnet zeigten, waren sie doch in der Minderzahl. Eine schöne Übereinstimmung zeigten Topfpflanzen oder Pflanzen in Nährlösung, welche ausnahmslos die Spalten geschlossen hatten.

Anders verhielten sich Sprosse unter Quecksilberdruck. Schellenberg untersucht in dieser Weise Galega, Galanthus, Helleborns und Fritillaria und findet nach 12—15stündigem Stehen im Dunkelschrank keine offenen Spalten. Ich habe diese Pflanzen zwar nicht nachgeprüft, doch habe ich Versuche angestellt an Dahlia, Phaseolus, Iris und Tradescantia und habe neben geschlossenen stets auch offene Spalten gefunden. Doch nicht allein die mikroskopische Untersuchung, sondern auch das ständige, wenn auch langsame Steigen des Quecksilbers, bestätigt die Richtigkeit meiner Beobachtung, denn das Quecksilber war innerhalb 18 Stunden um 5,4 cm gestiegen.

Es zeigen zwar auch abgeschnittene Blätter nach Verdunklung immer noch Spalten offen, doch möchte ich dies der in der feuchten Kammer herrschenden dampfgesättigten Atmosphäre zuschreiben in Übereinstimmung mit Stahl, welcher sagt, dass die Spaltöffnungen bei gesättigter Luft mit Wasserdampf sich nicht schliessen, und Leitgeb: dass eine mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre bei einigen den Spaltenverschluss hindert, bei anderen fördert.

Was das Verhalten geschlossener Spaltöffnungen in kohlensäurefreier Luft anbetrifft, so ist ohne Zweifel aus den Tabellen ersichtlich, dass dieselben wohl imstande sind, sich zu öffnen und umgekehrt, dass geöffnete Spalten sich in kohlensäurefreier Luft meist nicht

schliessen. Dies bezieht sich allerdings bei einigen nur auf die Unterseite der Blätter, während die Stomata auf der Oberseite geschlossen waren, wie Phascolus, Tulipa, Hyacinthus und Crocus. Der Gasaustausch durch die Spaltöffnungen der Unterseite war jedenfalls in den Glocken ein sehr reger, denn ich fand die Unterseite der Blätter stets mit feinen Wassertröpfchen dicht besetzt, während die Oberseite trocken war.

Es würde zu weit führen auf alle Verhältnisse näher einzugehen und ist auch nicht der Zweck dieser Arbeit. So verschiedenartig die Resultate auch ausgefallen sind, so geht jedenfalls das daraus hervor, dass nur das Licht Einfluss auf die Funktion der Spaltöffnungen hat und nicht die Kohlensäure. Es kann daher das Verhalten der Spaltöffnungen für die Lebensfähigkeit der Blätter im Dunkeln und in kohlensäurefreier Luft nicht von ausschlaggebender Bedeutung sein.

B. Beobachtungen über das Wachstum einzelner Blätter im Dunkeln an entgipfelten Sprossen.

Das Wachstum von Keimpflanzen im Dunkeln ist schon wiederholt untersucht worden und zahlreich ist die Litteratur über Etiolement und Formveränderung etiolierter Pflanzen. Schon Sachs hatte sich im Jahre 1863 mit dem Einfluss des Lichtes auf die Neubildung und Entfaltung verschiedener Pflanzenorgane beschäftigt, und kam zu der Ansicht, dass Neubildung und Wachstum von Pflanzenorganen nur dann möglich ist, wenn an den Bildungsorten und in den wachsenden Zellen bildungsfähige Stoffe sich vorfinden oder wenn sie aus anderen Teilen der Pflanze dorthin geführt werden. Besonders in den letzten Worten ist schon die Vermutung ausgesprochen, dass Pflanzenorgane ohne eigene Assimilationsthätigkeit wachsen können, wenn ihnen eben nur genügend Nahrungsstoffe zu Gebote stehen. Dem entgegen ist Kraus anderer Ansicht. Er beschäftigt sich mit der Formveränderung etiolierter Pflanzen, und führt in seiner Arbeit folgendes an:

„Es ist eine merkwürdige Thatsache, dass die Laubblätter von dem Moment, wo sie aus der Knospe

ans Tageslicht brechen, darauf angewiesen sind, sich selbst zu ernähren und weiter zu bilden. Das Baumaterial, die Stärke, welche das junge Blatt aus dem Stamm erhält, reicht gerade hin, dasselbe ans Licht zu setzen. Hier muss es alsbald seine Weiterbildung durch eigene Assimilation besorgen. Das Stärkemehl, das sonstwo im Pflanzenkörper abgelagert ist, ist für die Ausbildung der Laubblätter so gut als nicht vorhanden. Das Blatt bildet sich nur durch die örtlichen Assimilationsproduckte aus. Die Laubblätter, die sich durch eigene Assimilation bilden, bleiben also einfach aus Mangel an Material für die Zellhautbildung im Finstern auf jener Stufe der Entwicklung stehen, von welcher aus sie am Licht ihre Weiterausbildung selbst besorgen müssen·"

Es ist nicht recht einzusehen, weshalb das junge Blatt, welchem Stoffe zum Aufbau seiner Zellen vom Stamm aus zugeführt werden, diese nur insoweit zu verwerten imstande sein soll, als die betreffenden Stoffe es befähigen, das Licht zu erreichen. Ich glaube vielmehr, dass das junge Blatt bis zu einem gewissen Alter und Grad seiner Entwicklung neben seiner Assimilationsthätigkeit auch noch einer Nahrungszufuhr durch den Stamm bedarf. Kraus wiederspricht sich hierin selbst, indem er annimmt, dass das Blatt nur durch die örtlichen Assimilationsprodukte sich weiter bilde, dass das Stärkemehl, in anderen Teilen der Pflanze abgelagert, nicht zum Aufbau der Blätter verwendet werden könne. Wenn aber dieses Stärkmehl schon zur Anlage der Blätter am Vegetationspunkt und zur Weiterführung derselben bis an das Licht dient, warum soll es nicht zur ferneren Ernährung der Blätter verbraucht werden können, auch wenn diese an der eigenen Assimilationsthätigkeit gehindert sind. Jost bestätigt diese Ansicht, indem er sagt:

„Stoffe, die in belichteten Teilen der Pflanze entstanden sind, können in verfinsterten Teilen derselben sowohl zur Ausbildung neuer Organe als auch zur Fortbildung schon angelegter verwendet werden. Speziell braucht das Blatt, um seine normale Grösse zu erlangen, durchaus keine spezifischen Stoffe, sondern es kommt mit den gleichen aus, die auch zur Anlage junger Blätter am Vegetationspunkt dienen."

Nach diesen Worten zu schliessen, müssen assimilierende Blätter imstande sein nicht assimilierende zu ernähren. Jost geht bei seinen Versuchen von der Beobachtung aus, dass die Blätter eines im Dunkeln befindlichen Sprosses in gegenseitiger Abhängigkeit stehen, sich die ihnen von anderen Orten zugeführte Nahrung streitig machen. Und zwar sind es die jungen Blätter, welche in diesem Kampfe siegen. Der Vegetationspunkt bildet, so lange Nahrung vorhanden ist, neue Blätter aus, und ältere gehen dafür zu Grunde. Er stellt deshalb seine Versuche in der Weise an, dass er die Sprossgipfel der Pflanzen ins Dunkle leitet, während er alle Knospen der am Licht befindlichen Teile sorgfältig entfernt.

Ich habe die Versuche etwas abgeändert und zwar in der Weise, dass ein Sprossgipfel, welcher am kräftigsten zu werden versprach, zunächst in eine Hülle von schwarzem Papier möglichst lichtdicht eingeschlossen wurde. In dieser Hülle verblieben die Knospen so lange, bis die kleinen Blättchen genügend weit auseinander gerückt waren, um den Vegetationspunkt entfernen zu können, sodass nur jedesmal ein Blättchen, welches für den Versuch am geeignetsten schien, stehen blieb. Dieses wurde dann in eine dunkle Kammer eingeleitet. Letztere bestand aus einem beiderseits mit schwarzem Papier überklebten Holzkasten mit Deckel, welcher durch ein Häkchen mit Öse dicht verschlossen werden konnte. Die Kästen waren länger als breit und

in die Wand der schmalen Seite, welche als Boden diente, wurde eine Spalte eingeschnitten, in welche der Blattstiel der einzelnen Blätter bequem hineinpasste. Die kleinen Blättchen hatte ich bis dahin durch eine runde Öffnung in einem Brettchen wachsen lassen. Mit Hülfe der Spalte wurde der Kasten über die kleinen Blättchen geschoben, wobei dem ganzen Apparat ein eisernes Gestell als Stütze diente. Auf diese Weise wurde es ermöglicht, den Kasten jederzeit bequem von den Blättchen zu entfernen, ohne diese zu beschädigen, auch wenn sie schon eine beträchtliche Grösse erlangt hatten. Die Spalte sowohl als auch die Öffnung im Brettchen unter dem Kasten wurden durch braune Watte verstopft und der Deckel dann geschlossen. Auf diese Weise wurden die Lichtstrahlen von den Objekten fern gehalten; absolute Dunkelheit wurde nicht erreicht, war aber auch nicht nötig, sondern es kam nur darauf an, die Bildung des Chlorophyllfarbstoffes zu verhindern, was vollkommen erreicht wurde.

Der vorgerückten Jahreszeit wegen, mit den Versuchen wurde im Herbst begonnen, konnten dieselben nicht an Pflanzen im Garten vorgenommen werden, sondern ich musste mich mit Topfpflanzen begnügen und von diesen musste ich wieder eine engere Auswahl treffen, da viele Pflanzen zu dieser Zeit in eine Ruheperiode eintreten und infolge dessen nicht genügend wachsen wollen. Auch richtete ich meine Aufmerksamkeit auf Pflanzen, welche bei einer gewissen Unempfindlichkeit gegen äussere Einflüsse, zahlreiche und grosse Blätter besitzen, um eine möglichst grosse Assimilationsfläche zu haben und so den im Dunkeln eingeschlossenen Blättern eine reichliche Nahrungszufuhr zu sichern. Ich habe solche Pflanzen gewählt, welche von den im Anfang dieser Arbeit genannten Autoren noch nicht zur Untersuchung herangezogen waren, indem ich bestrebt war, dadurch das Beobachtungsmaterial zu

vermehren. Doch hatte ich nicht bei allen Pflanzen den gleichen Erfolg und will deshalb nur diejenigen Versuche näher besprechen, bei welchen die betreffenden Blätter am weitesten gewachsen waren.

Keinen Erfolg hatte ich bei Aralia Sieboldi und papyrifera. Die Versuche konnten bei diesen Pflanzen erst im Dezember begonnen werden, da sie vorher nicht anzutreiben waren, und als sie dann trieben, wuchsen die Blätter zwar ein wenig, gingen aber dann bald zu Grunde. Ferner bei Digitalis canariensis, Atrapaea Wallichii und Phlomis perugynea. Letztere Pflanze hatte ein Blättchen getrieben, welches vollständig den Charakter des Etiolements zeigte. Bei einem annormal verlängerten Blattstiel eine verkümmerte kleine Blattspreite. Atrapaea hatte im Dunkeln ein Blatt gebildet, welches aber bald das Wachstum einstellte und nach 3 Wochen abfiel. Es hatte bis dahin eine Grösse erreicht von 3 cm Länge und 2 cm Breite. Doch da diese nicht im Verhältnis zu den anderen grossen Blättern steht, will ich darauf nicht näher eingehen.

Die Pflanzen, bei denen ich mehr Erfolg gehabt habe sind folgende: Phaseolus multiflorus; Ficus Liberi; Ricinus communis; Homalanthes popu lifera und Sparmannia africana, und ich möchte die einzelnen Versuche hier kurz besprechen.

Phaseolus multiflorus.

Die Pflanzen waren aus Samen in Töpfen gezogen und hatten zwei derselben sich ziemlich gleichmässig entwickelt. Diese hatten das zweite Blattpaar gebildet und zeigten an der Spitze des dritten Internodiums je ein kleines Blättchen von ungefähr $^1/_2$ cm Grösse. Die Blättchen waren grün. Dieses dritte Internodium wurde entgipfelt und die Blättchen in eine Dunkelkammer eingeleitet. Am 22. Oktober begann der Versuch. Am 25. waren die Blättchen völlig gelb. Am 29. November,

also nach 38 Tagen wurde der Versuch abgebrochen. Die Blätter waren bedeutend gewachsen, zeigten vollständig normale Gestalt, waren aber völlig gelb.

Es wurden Messungen vorgenommen und zwar wurde die Länge gemessen an der Mittelrippe von der Basis derselben bis zur Spitze; die Breite an der Mittelrippe, an deren Ansatzstelle am Blattstiel. Ich glaube, dass ich auf diese Weise trotz der verschiedenartigen Gestalt der Blätter, die Messungen nach einer einheitlichen Richtung hin vorgenommen habe. Die Bohnenblätter sind dreiteilig und beziehen sich die Zahlen auf je einen Teil eines solchen Blattes. Danach ergaben sich folgende Grössenverhältnisse:

Erstes Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{6.2}{4.2}; \quad \frac{5.0}{3.0}; \quad \frac{5.0}{2.8} \text{ cm}$$

Zweites Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{6.0}{3.9}; \quad \frac{5.0}{2.8}; \quad \frac{5.0}{2.8} \text{ cm}$$

im Vergleich mit normalen Blättern von gleichem Alter, welche folgende Grössen aufweisen:

Erstes Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{6.3}{5.2}; \quad \frac{4.8}{3.8}; \quad \frac{5.0}{3.5} \text{ cm}$$

Zweites Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{7.0}{4.8}; \quad \frac{5.5}{3.1}; \quad \frac{6.5}{3.3} \text{ cm.}$$

Die Zahlen der im Dunkeln gewachsenen Blätter im Vergleich mit denen normaler weisen keine grossen Verschiedenheiten auf.

Es war mir bekannt, dass man Blätter von Keimpflanzen, welche im Dunkeln wachsen, zur besseren Entfaltung und grösserem Wachstum bringen kann, wenn man sie zeitweilig einer kurzen Belichtung aussetzt.

Ich glaubte dies auch auf einzelne Blätter im Dunkeln anwenden zu können und stellte deshalb mit dem ersten parallel folgenden Versuch an: Drei Pflanzen von Phaseolus hatten das erste Blattpaar kräftig entwickelt und alle drei ein zweites Internodium mit Gipfelknospe gebildet, welch letztere entfernt wurde, sobald das älteste Blättchen derselben $^1/_2$ cm Grösse erreicht hatte. Die Blättchen waren grün und wurden am 18. Oktober in eine Dunkelkammer eingeleitet. Am 22. waren die Blättchen gelb. Von jetzt ab wurden sie belichtet, ndem von Zeit zu Zeit auf eine Stunde, manchmal auch länger der Kasten von ihnen entfernt wurde. Der Versuch wurde am 29. November abgebrochen und hatte im Ganzen 42 Tage gedauert. Die Blätter waren während dieser Zeit im Ganzen 26 Stunden mit Unterbrechung belichtet worden. Die Zeit hatte nicht genügt, um den Chlorophyllfarbstoff zu bilden, denn die Blätter waren vollständig gelb, sie zeigten ganz normale Gestalt bis auf eins, welches infolge von Beschädigung in seiner Jugend verkrüppelt war. Die Blattfläche war ausgebreitet und glatt. Messungen ergaben folgende Grössenverhältnisse:

Erstes Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{4.6}{6.3}; \quad \frac{2.8}{4.0}; \quad \frac{2.7}{4.4} \text{ cm}$$

Zweites Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{6.0}{5.0}; \quad \frac{6.0}{5.0}; \quad \frac{4.5}{3.8} \text{ cm}$$

Drittes Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{5.4}{4.8}; \quad \frac{4.9}{4.0}; \quad \frac{6.0}{4.5} \text{ cm.}$$

Normale Blätter von gleichem Alter zeigten folgende Grössen:

Erstes Blatt:

$$\frac{\text{Länge:}}{\text{Breite:}} \quad \frac{7.0}{4.1}; \quad \frac{5.0}{3.2}; \quad \frac{5.3}{3.3} \text{ cm}$$

Zweites Blatt:

Länge: $\frac{6.9}{5.1}$; $\frac{5.8}{3.9}$; $\frac{5.6}{4.0}$ cm.
Breite:

Auch hier stimmen die Zahlen der im Dunkeln gewachsenen Blätter mit denen normaler ziemlich überein. Die 26 stündige Belichtung hatte auf die äussere Gestalt der Blätter zwar keinen Einfluss gehabt, doch zeigten sich Verschiedenheiten im anatomischen Bau, wie ich im letzten Kapitel dieser Arbeit zeigen werde.

Ficus Liberi.

Am 4. November wurde die junge Knospe, welche 2 cm lang war durch eine Hülle von schwarzem Papier vom Licht abgeschlossen. Hier war das älteste Blatt am 14. November auf 5 cm gewachsen und wurde nun in eine Dunkelkammer eingeleitet; die Knospe wurde entfernt. Am 15. Dezember wurde der Versuch abgebrochen; das Blatt war 41 Tage im Dunkeln gewachsen. Es war völlig etioliert, die Mittelrippe war gerade gestreckt, doch war die Blattfläche zu beiden Seiten der Mittelrippe nach der Unterseite hin eingerollt. Das Blatt war 13 cm lang und 3,5 cm breit. Die Pflanze besass am Ende des Versuches noch 11 Blätter, welche durchschnittlich eine Länge von 17 cm, eine Breite von 4,5 cm besassen.

Ricinus rommunis.

Am 3. November wurde die junge Blattknospe durch eine Hülle von schwarzem Papier verdunkelt. Am 12. November war ein kleines Blättchen gewachsen, welches am 23. etwa 4 cm gross war und jetzt in eine Dunkelkammer gebracht wurde. Die Pflanze besass am Anfang des Versuches 5 grosse Blätter, von welchen jedoch nacheinander 4 abfielen. Am 6. Dezember war auch das im Dunkeln gewachsene Blatt abgefallen; es war also hier 33 Tage gewachsen und hatte eine Grösse

von 7 cm Länge und 6,5 cm Breite erreicht. Die Pflanze besass jetzt nur noch ein grünes Blatt.

Homalanthes populifera.

Am 16. November wurde die junge Knospe in die Dunkelkammer gebracht. Nachdem sich hier ein kleines Blatt entfaltet hatte, wurde die Pflanze entgipfelt. Das Blättchen wuchs im Dunkeln bis zum 28. Dezember; an diesem Tage fiel es ab. Die Länge des Blattes betrug 5 cm, die Breite 4,5 cm. Die Pflanze besass noch 5 grüne, gesunde Blätter mit einer Durchschnittsgrösse von 11,4 : 11,0 cm. Die Pflanze hatte eine Höhe von 50 cm und hatte längs des Stammes zahlreiche Knospen getrieben, welche nicht entfernt worden waren.

Sparmannia africana.

Am 12. November wurde die junge Knospe durch schwarzes Papier verdunkelt. Am 20. hatte sich ein Blättchen entfaltet, sodass die Pflanze entknospet und das Blättchen in die Dunkelkammer gebracht werden konnte. Am 31. Dezember, also nach 49 Tagen fiel das Blättchen ab. Es hatte ganz normale Gestalt bei einer Länge von 5 cm und einer Breite 3,2 cm. Die Pflanze besass am Ende des Versuches 4 grössere Blätter, welche 8,5 cm lang und 7,5 cm breit waren und an einem Seitenzweig noch 3 kleinere von 5 cm Länge und 4 cm Breite. Auch bei dieser Pflanze waren zahlreiche Neubildungen am Stamm und in den Blattaxeln aufgetreten, welche nicht entfernt worden waren.

Aus diesen Versuchen geht deutlich hervor, dass das Blatt, entgegen der Behauptung von Kraus, wohl imstande ist, sich ohne eigene Assimilationsthätigkeit im Dunkeln weiter zu bilden, sei es, dass es schon am Vegetationspunkt im Dunkeln angelegt wurde, wie bei Ficus, Ricinus, Sparmannia, sei es, dass es bereits einige Tage am Licht gewachsen war, wie bei Phaseolus

und Homalanthes. Die Blätter hatten sich alle über 30 Tage im Dunkeln gehalten, hatten bedeutendes Wachstum gezeigt, und mit kleinen Unterschieden nahezu die Durchschnittsgrösse der an den Pflanzen befindlichen grünen Blätter erreicht. Ricinus, Homalanthes und Sparmannia waren allerdings dahinter zurückgeblieben. Sparmannia aber insofern auch nicht, als diese Pflanze an einem Seitenzweig 3 Blätter besass, welche eben nicht grösser waren, als das im Dunkeln gewachsene. Das frühzeitige Abfallen der Blätter der letztgenannten Pflanzen, dieselben waren beim Abfallen völlig frisch und gesund, nicht verwelkt, erklärt sich wohl daraus, dass, wie bei Ricinus, die assimilierende Fläche vermindert wurde und das letzte Blatt nicht mehr imstande war, das etiolierte zu ernähren, oder, wie bei Homalanthes und Sparmannia aus der Neubildung von Seitensprossen, welche die von den grünen Blättern gebildeten Nahrungsstoffe zu ihrem Wachsthum an sich rissen und sie so den etiolierten Blättern entzogen wurden. Diese Blätter mögen also aus Nahrungsmangel abgefallen sein. Es ist dies von Neuem ein Beweiss, dass Blätter im Dunkeln wachsen können, wenn ihnen nur genügend Nahrung zugeführt werden kann, und hier zeigt sich eine entschiedene Unabhängigkeit des jungen Blattes von seiner Assimilationsthätigkeit. Das Äussere unterschied sich nur durch die gelbe Farbe von normalen Blättern. Die Blattfläche war, mit Ausnahme von Ficus, glatt und ausgebreitet; eine Überverlängerung der Stiele war nicht eingetreten; die Blätter zeigten also nicht die krankhaften Erscheinungen etiolierter Blätter an Keimpflanzen. Doch zeigten sie, wie ich im letzten Kapitel ausführen werde, Unterschiede im anatomischen Bau.

C. Beobachtungen über das Wachstum einzelner Blätter in kohlensäurefreier Luft an entgipfelten Sprossen.

Das Vermögen der Pflanzen, einzelne Blätter an entgipfelten Sprossen im Dunkeln auszubilden, legte die Vermuthung nahe, welche auch schon Jost in seiner Arbeit ausspricht, dass die gleiche Erscheinung auch eintreten müsse, wenn man die Blätter an ihrer Assimilationsthätigkeit hindert durch Entziehung der Kohlensäure. Dem entsprechende Versuche wurden auch vorgenommen, aber zu einer für die Pflanzen ungünstigen Zeit, nähmlich im Winter. Gelingt es auch die Pflanzen durch Anwendung von Wärme und kräftiger Wasserzufuhr zum Treiben zu bringen, so bleibt doch das Wachstum im Winter hinter dem im Sommer bedeutend zurück. Wenn ich deshalb zum Teil Misserfolge zu verzeichnen habe, so bin ich doch nicht geneigt, die Versuche als absolut gescheitert zu betrachten. Ich schreibe vielmehr das Fehlschlagen meiner Versuche dem Umstand zu, dass sich nicht alle Bedingungen erfüllten, die ich für das Gelingen derselben vorausgesetzt hatte, und glaube, dass man bei Wiederholung der Versuche im Sommer zu besseren Resultaten gelangen kann.

Die Versuche wurden des Vergleiches wegen mit denjenigen im Dunkeln an denselben Pflanzen vorgenommen, nähmlich an Hibiscus, Phaseolus und Homalanthes. Es ist vielleicht nicht überflüssig, die Versuche kurz zu besprechen. Zunächst möchte ich auf die technischen Schwierigkeiten aufmerksam machen, welche sich der Ausführung in den Weg stellten. Es ist nicht leicht möglich, eine absolut kohlensäurefreie Atmosphäre in Glasglocken, in denen sich Pflanzenteile befinden, herzustellen, da die letzteren durch die Atmung Kohlensäure bilden, welche im Verlauf der Versuche nicht immer sogleich entfernt werden konnte. Aber auch ein luftdichter Abschluss einzelner Pflanzenteile in Glasglocken ist schwer herzustellen, und es sind auch nicht alle Pflanzen dazu geeignet; solche mit saftigem, krautigen Stengel sind gar nicht zu gebrauchen, weil sie leicht beschädigt werden können. Die oben erwähnten Pflanzen besitzen ziemlich widerstandsfähige holzige Stengel und waren dazu einigermassen geeignet. Ich verfuhr dabei in folgender Weise: Ein Kork, welcher mit drei Bohrungen, eine mittlere grössere und zwei seitliche kleinere, versehen war, wurde durch die mittlere Bohrung halbiert und zum Verschluss seiner Poren in geschmolzenes Paraffin getaucht. In die seitlichen Öffnungen wurden zwei Glasröhrchen eingepasst. Die mittlere Bohrung wurde zur Hälfte mit weichem Glaserkitt ausgefüllt und beide Hälften des Korkes dann an die Stengel der betreffenden Pflanzen angedrückt, sodass sie genau auf einander passten. Die einzuschliessenden kleinen Blättchen befanden sich dann einige Centimeter oberhalb des Korkes. Dann wurde über den Kork eine weithalsige Flasche von $^1/_2$ bis 1 Liter Inhalt geschoben, in welcher sich feuchte Watte befand. Die Flasche ruhte senkrecht in einem eisernen Gestell. Die Aussenfläche des Korkes und der Rand des Flaschenhalses wurden dann noch mit einer dicken Schicht von Glaser-

kitt verschlossen. Aus diesen Flaschen wurde die Luft mit der Saugpumpe herausgesaugt, während kohlensäurefreie Luft durch den im ersten Kapitel beschriebenen Apparat in die Flasche nachströmte. Die Glasröhrchen wurden dann durch Gummischläuche mit Quetschhähnen verschlossen.

Hibiscus.

Am 9. Dezember kam ein junges Blättchen von etwa $^1/_2$ cm Länge in kohlensäurefreie Luft. Die Pflanze wurde entgipfelt. Das Blatt wuchs bis zum 21., also 12 Tage, an welchem Datum es abfiel. Es war grün und frisch und war bis etwa auf das Doppelte seiner ursprünglichen Grösse gewachsen.

Phaseolus multiflorus.

Am 17. Dezember wurde ein kleines Blättchen des zweiten Blattpaares einer Topfpflanze in eine Flasche eingeschlossen; die Pflanze entgipfelt. Am 27., nach 10 Tagen ging das Blatt zu Grunde, indem der Blattstiel braun wurde und einschrumpfte. Auch dieses Blatt war bis etwa auf das Doppelte seiner ursprünglichen Grösse gewachsen.

Homalanthes populifera.

Mit dieser Pflanze hatte ich etwas mehr Erfolg, da sie kräftiger wuchs als die andern. Am 10. Dezember begann der Versuch. Das Blatt, welches ich einschloss, war 1 cm lang. Am 31. war dasselbe abgestorben, indem auch hier der Blattstiel braun wurde und einschrumpfte. Das Blatt selbst hielt sich noch länger frisch und grün. Neben diesem Blatt hatte die Pflanze eine neue Knospe getrieben, welche ein neues Blättchen bildete. Da dieses am 13. Januar ebenfalls krankhafte Erscheinungen zeigte, wurde der Versuch hier abgebrochen. Das in der Flasche gewachsene Blättchen hatte eine Länge von 1,8 cm und

eine Breite von 2,0 cm erreicht; während das erstere und ältere Blatt eine Länge von 3,5 cm und eine Breite von 3 cm hatte.

Diese Versuche, im Verein mit denen von Vöchting und Jost lehren, dass die Laubblätter im kohlensäurefreien Raum bedeutend rascher zu Grunde gehen, als im Dunkeln. In beiden Fällen ist die Assimilation gehindert und doch hat es nicht dieselbe Wirkung auf die Blätter, ob die Assimilation gehemmt wird durch Verdunklung oder durch Entziehung der Kohlensäure. Bei Verdunklung steht den Blättern Kohlensäure zur Verfügung, doch kann diese wegen des nicht ausgebildeten Chlorophyll zum Aufbau der organischen Substanz nicht verwendet werden. Entzieht man den Pflanzen die Kohlensäure bei Belichtung, so wird der Chlorophyllfarbstoff ausgebildet, die Blätter zeigen ganz normales Aussehen, aber es scheint durch verhinderten Eintritt der Kohlensäure in den Chemismus der Zelle, die lebendige Substanz derselben nicht im Zustande normaler Thätigkeit erhalten zu werden; und es ist sehr wahrscheinlich, dass Chloroplasen sowohl als auch Protoplasma ohne Kohlensäure pathologischen Veränderungen ausgesetzt sind.

D. Beobachtungen über das Wachstum von Keimpflanzen in kohlensäurefreier Luft.

Die Versuche über das Wachstum einzelner Blätter in kohlensäurefreier Atmosphäre, brachten mich auf den Gedanken, dasselbe auch an Blättern von Keimpflanzen, welche in kohlensäurefreier Luft aufgezogen waren, zu beobachten und zu vergleichen. Es liegt auf flacher Hand, dass wenn die Pflanzen sich unter den Bedingungen überhaupt entwickelten, dies doch nur in soweit geschehen kann, als ihnen aus den Reservestoffen des Samens die Nahrungszufuhr gesichert ist. Die Versuche wurden angestellt an Pisum sativum, Vicia faba und Phaseolus multiflorus, und um einigermassen einen Anhaltspunkt zu haben über die Menge der bei der Atmung gebildeten Kohlensäure, wurde dieselbe quantitativ bestimmt. Hierzu bediente ich mich des Liebig'schen Kugelapparates, welcher mit einer Kalilauge im Verhältnis von 1:1 gefüllt wurde. Die Samen kamen, nachdem sie eine kräftige Wurzel getrieben, in Nährlösung und unter die Glocken in kohlensäurefreie Luft, wie ich es im 1. Kapitel beschrieben habe. Da die Luft in den Glocken stets dampfgesättigt ist, wurde zum

Trocknen derselben zwischen Glocke und Kaliapparat ein Chlorcalciumrohr eingeschaltet, welches die Luft aus den Glocken passieren musste, ehe sie in den Kaliapparat gelangte. Zur Kontrolle über die Vollständigkeit der Absorption der Kohlensäure wurde noch eine Flasche mit Barytwasser angebracht. Während der Dauer der Versuche wurde die Luft aus den Glocken in Zeitabschnitten von ungefähr 24 Stunden mit der Wassersaugpumpe durch den Kaliapparat in langsamen Strome durchgeleitet, während von der anderen Seite kohlensäurefreie Luft nachströmte. Die Gewichtszunahme am Ende der Versuche ergab dann unmittelbar die Menge der bei der Atmung gebildeten Kohlensäure.

Pisum satirum.

Am 15. November kamen 14 Samen unter Glocke in kohlensäurefreie Luft. Die Samen hatten kräftige Wurzeln getrieben, die Keimpflänzchen selbst waren etwa $^1/_2$ cm gross. Am 10. Dezember, nach 25 Tagen, wurde der Versuch abgebrochen. Die Pflanzen hatten sich bis zu einer Höhe von 18—20 cm entwickelt, die Blättchen waren nicht ausgebildet, klein und verkümmert, während die Stengel auffällig dick waren und sich in Betreff des Umfanges viel kräftiger entwickelt hatten, als bei vormalen Pflanzen. Die Samen waren an Nahrungsstoffen erschöpft.

Trockengewicht der Samen vor der Keimung	= 4,2	gr
„ „ „ nach „ „	= 1,07	„
Frischgewicht „ „ „ „ „	= 6,93	„
„ „ Pflanzen	= 14,57	„
Trockengewicht „ „	= 1,00	„
Gebildete Kohlensäure	= 1,727	„

Dennoch hatten die Samen 41,1 % ihres Trockengewichtes durch Bildung von Kohlensäure verloren.



Vicia faba.

Am 16. November kamen 6 Samen in kohlensäurefreie Luft. Die Samen hatten kräftige Wurzeln, die Keimlinge waren $^1/_2$ cm gross, begannen die Schale zu durchbrechen. Am 3. Dezember, nach 17 tägiger Dauer wurde der Versuch abgebrochen. Die Samen schienen an Reservestoffen noch nicht ganz erschöpft zu sein; die Pflanzen hatten durchschnittlich eine Höhe von 24 cm. Auch hier waren die Blätter klein und nicht entwickelt.

Gewicht der Samen vor der Keimung . .	=	7,86 gr
Frischgewicht der Samen nach der Keimung	=	15,64 „
Trockengewicht „ „ „ „ „	=	4,03 „
Frischgewicht „ Pflanzen	=	26,39 „
Trockengewicht „ „	=	2,12 „
Gebildete Kohlensäure	=	1,697 „

Danach hatten die Samen 21,07 % ihres Trockengewichtes durch Bildung von Kohlensäure verloren.

Phaseolus multiflorus.

Am 16. November kamen 6 Samen in kohlensäurefreie Luft. Die Samen hatten kräftige Wurzeln, die Keimpflanzen waren noch nicht sichtbar, doch begann die Samenschale zu reissen. Der Versuch wurde am 17. Dezember, nach 21 Tagen, abgebrochen. Die Pflanzen hatten eine Höhe von 25 cm erreicht. Das erste Blattpaar war ausgebreitet, und zeigte, von der geringeren Grösse abgesehen, ganz normales Aussehen. Auch hier hatten sich die Stengel bedeutend verdickt und hatten unterhalb der ersten Blätter einen Umfang von 2,3 cm im Vergleich zu 1,2 cm normaler Pflanzen. Die Samen waren an Reservestoffen erschöpft und eingeschrumpft.

Gewicht der Samen vor der Keimung . .	=	8,22 gr
Frischgewicht der Samen nach der Keimung	=	15,53 „
Trockengewicht „ „ „ „ „	=	1,78 „
Frischgewicht „ Pflanzen	=	38,20 „

Trockengewicht der Pflanzen . . . . . . = 3,14 gr
Gebildete Kohlensäure . . . . = 2,99 „

Danach hatten die Samen 36,3 % ihres Trockengewichtes durch Bildung von Kohlensäure verloren.

Es hatten sich also die Keimpflanzen in den Glocken weit besser entwickelt als die einzelnen Blätter, über die ich im vorigen Kapitel berichtete. Die Pflanzen waren soweit gewachsen, als es ihnen die im Samen aufgespeicherten Reservestoffe gestatteten. Dabei war die Atmungsthätigkeit eine sehr rege gewesen, denn die Samen hatten durch dieselbe einen beträchtlichen Teil ihrer Reservestoffe verloren. Die bei der Atmung gebildete Kohlensäure war zweifellos von den Pflanzen zum Teil wieder durch Assimilation zu ihrem Wachstum verwendet worden, und um zu sehen, inwieweit sich die Bohnen ohne die bei der Atmung gebildete Kohlensäure entwickeln würden, stellte ich noch folgenden Versuch an.

Am 5. Januar brachte ich einen Topf, in welchem drei Bohnen in Erde geflanzt waren, unter Glocke in kohlensäurefreie Luft. Die Keimpflänzchen hatten sich noch nicht über die Erde erhoben. In die Glocke kam diesmal noch ein Gefäss mit festem Ätzkali, um die durch Atmung gebildete Kohlensäure zu absorpieren, so dass die Pflanzen völlig kohlensäurefrei aufwuchsen. Sobald die Pflänzchen gross genug waren, wurden sie entgipfelt, nur die beiden ersten Blätter blieben stehen. Die Temperatur im Treibhause betrug 22° und in der dampfgesättigten Atmosphäre der Glocken wuchsen die Pflanzen so schnell heran, dass am 12. Januar der Versuch abgebrochen werden musste, weil die geringe Höhe der Glocken ein Weiterwachsen der Pflanzen nicht mehr gestattete. Die Höhe der Pflanzen betrug 15,18 und 20 cm. Die Blätter waren etwa doppelt so gross geworden als bei den nicht entgipfelten Pflanzen und zeigten folgende Grössenverhältnisse:

Länge:	9	8	7,5	8	cm.
Breite:	7	6	5	6	

Bei diesen Blättern zeigte sich jedoch die auffallende Erscheinung, dass sie vom Rande her langsam verfaulten; sie gingen in eine schmierige dunkelgrüne Masse über, während die Mitte der Blattfläche noch frisch und gesund war. Dies spricht dafür, dass die Pflanzen zweifelsohne bald ganz zu Grunde gegangen wären, und sich nicht so lange gehalten hätten, als die vorher beschriebenen Keimpflanzen von Pisum, Vicia und Phaseolus. Denn während letztere 25 Tage lang unter den Glocken sich erhalten hatten, zeigten sich bei jener schon nach 7 Tagen krankhafte Erscheinungen.

Der letzte Versuch zeigt, dass es an Keimpflanzen gelingt, in kohlensäurefreier Luft durch Entgipfeln und durch Verhinderung von Neubildungen die Blätter bedeutend zu vergrössern. Der Umstand, dass die Blätter nach 7 Tagen schon vom Rande aus zugrunde gingen, scheint mir eine Bestätigung für die von mir am Ende des vorigen Kapitels ausgesprochene Ansicht zu sein, nämlich, dass durch längere und gänzliche Entziehung der Kohlensäure das Protoplasma in seiner Lebensthätigkeit und Funktion gestört wird.

E. Anatomie und Chemie der im Dunkeln und in kohlensäurefreier Luft gewachsenen Blätter.

Ich habe in den betreffenden Kapiteln schon darauf hingewiesen, dass Lichtentziehung oder Lichteinwirkung auf die äussere Gestalt der Blätter weniger Einfluss gehabt hatte, wohl aber im imstande gewesen war, den inneren Bau derselben zu verändern. Über die Ursachen des geringeren Wachstums etiolierter Blätter herrschen verschiedene Ansichten. Batalin behauptet, dass die Blätter deshalb im Dunkeln nicht weiter wachsen, weil ihre Zellen nicht imstande sind, sich im Dunkeln zu teilen. Dem entgegen sagt schon Sachs, dass selbst bei oberirdischen Pflanzenteilen die Vorgänge der Zellteilungen oft in tiefer Dunkelheit vor sich gehen. Kraus führt die Ursachen der Formveränderung sowohl auf eine Überverlängerung, als auch auf eine Übervermehrung der Zellen zurück. Nimmt man an, dass etiolierte Pflanzenteile nur so weit zu wachsen imstande wären, als die einmal vorhandenen Zellen sich vergrössern, so mussten die Zellen eines Kartoffeltriebes, der im Keller mitunter meterlang wächst, in's Ungeheuere sich vergrössern. Dies ist aber nicht der Fall und es müssen Pflanzenteile entschieden auch durch Zellvermehrung im Dunkeln wachsen.

Untersucht man an Querschnitten der im Dunkeln gewachsenen Blätter den anatomischen Bau derselben, so fällt sofort die geringe Grösse des Palissadenparenchyms auf. Blätter, deren Anlage am Vegetationspunkt bereits im Dunkeln erfolgte, wie bei Phaseolus und Sparmannia, zeigen ihren inneren Bau so verändert, dass es auf den ersten Blick schwer ist, die Unterseite von der Oberseite zu unterscheiden. Das Palissadenparenchym zeigt dann die charakteristische Gestalt seiner langgestreckten Zellen nicht, sondern diese machen ganz den Eindruck des Schwammparenchyms. Waren die Blätter schon einige Tage am Licht gewachsen, wie Ficus, Homalanthes, so ist das Palissadenparenchym deutlich von dem Schwammparenchym zu unterscheiden, doch scheint ersteres auf der Stufe seiner Entwicklung stehen zu bleiben, die es gerade inne hatte, als es verdunkelt wurde. Ich habe Messungen über die Dicke der im Dunkeln gewachsenen Blätter und über Länge und Breite der Palissadenzellen angestellt und führe die Zahlen in folgender Tabelle an. Bei Phaseolus und Sparmannia beziehen sich die Zahlen, welche bei den anderen die Grösse der Palissadenzellen angeben, auf die erste Zellreihe unter der Epidermis der Oberseite. Ich habe die betreffenden Blätter mit normalen von fast gleichem Alter und mit ganz jungen Blättern verglichen und die betreffenden Zahlen zeigen deutlich, dass die im Dunkeln gewachsenen Blätter in Betreff des Palissadenparenchyms und der Dicke der Blätter thatsächlich den Eindruck junger Blätter machen. Die Zahlen stimmen ziemlich überein, oder differieren in der dritten Dezimalstelle. Bei Phaseolus zeigt sich die Einwirkung des Lichtes auf die Palissadenzellen sehr deutlich. Während die gänzlich im Dunkeln gewachsenen Blätter nur eine Dicke von 0,1080 mm besitzen, haben die anderen bei 26 stündiger Belichtung eine Dicke von 0,1520 mm. Während die Palissadenzellen bei den im Dunkeln ge-

Name der Pflanze	Grösse des Blattes in cm		Alter des Blattes	Dicke des Blattes in mm	Grösse der Palissadenzellen in mm	
	Länge	Breite			Länge	Breite
Ficus Liberi Normales Blatt	14,3	3,8	42 Tage	0,3540	0,0879	0,0059
Im Dunkeln gewachsenes Blatt	13,0	3,5	42 „	0,2820	0,0195	0,0080
Junges normales Blatt	1.3	0,5	7 „	0,1560	0,0156	0,0065
Sparmannia afric. Normales Blatt	5,0	4,0	45 „	0,1560	0,0379	0,0210
Im Dunkeln gewachsenes Blatt	4,5	2,8	49 „	0,0876	0,0143	0,0124
Junges normales Blatt	1,0	0,6	9 „	0,0972	0,0163	0,0145
Homalanthis pop. Normales Blatt	11,4	11,0	?	0,1872	0,0494	0,0104
Im Dunkeln gewachsenes Blatt	4,5	4,0	31 „	0,1626	0,0169	0,0093
Junges normales Blatt	1,5	1,5	10 „	0,1512	0,0364	0.0130
In kohlensäurefreier Luft gewachs. Blatt	1,8	2,0	15 „	0,1560	0,0364	0,0117
Phaseolus multifl. Normales Blatt	7,0	4,8	42 „	0,1892	0,0390	0,0104
Im Dunkeln gewachsenes Blatt	6,0	3,9	42 „	0,1080	0,0208	0,0158
Junges normales Blatt	1,0	1,5	8 „	0,1200	0,0260	0,0098
In kohlensäurefreier Luft gewachs. Blatt	9,0	7,0	7 „	0,1956	0,0390	0,0104
Im Dunkeln gewachsenes Blatt n. 26 stünd. Belicht.	6,0	4,5	42 „	0,1520	0,0353	0,0184

wachsenen Blättern eine Länge von 0,0208 und eine Breite von 0,0158 mm besassen, hatten dieselben bei den belichteten Blättern eine Länge von 0,0353 und eine Breite von 0,0184 mm erreicht, welche Zahlen denen normaler Blätter mehr gleichen. Die in kohlensäurefreier Luft am Licht gewachsenen Blätter zeigen mehr normale Verhältnisse, was besonders deutlich bei Phaseolus hervortritt. Ich möchte daher behaupten, dass die Ausbildung des Palissadenparenchyms an das Licht geknüpft ist und dass die Funktion des Chlorophylls keine Rolle dabei spielt, wie auch Batalin behauptet; denn in beiden Fällen, im Dunkeln wie auch in kohlensäurefreier Luft am Licht, hat der Chlorophyllapparat nicht arbeiten können und dennoch haben wir ein Unterschied im inneren Bau der Blätter. Auch lesen wir bei Oels, dass es gelingt bei Blättern, die man in der Jugend umkehrt, so dass die Unterseite mehr belichtet wird, das Palissadenparenchym auch auf dieser hervorzurufen, und die sogenannten Schattenblätter in der Natur zeigen vielfach auch eine Reduktion des Palissadenparenchyms.

Was die chemischen Verhältnisse der im Dunkeln und in kohlensäurefreier Luft gewachsenen Blätter anbetrifft, so habe ich in allen Fällen Stärke, Zucker und bei Ficus auch Öl gefunden. Die Stärke fand ich bei den ohne Kohlensäure gewachsenen Blättern nur in den Schliesszellen und scheint sie hier durch die bei der Atmung gebildete Kohlensäure entstanden zu sein. Bei den im Dunkeln gewachsenen Blättern fand ich sie auch in den Schliesszellen, aber auch in den Scheiden der Gefässbündel. Immer war sie in so geringer Menge vorhanden, dass sie für die Ernährung der Blätter keine bedeutende Rolle gespielt zu haben scheint. Dagegen fand ich in allen Fällen Zucker in reichlicher Menge, so dass ich annehmen muss, dass die Blätter aus diesem Zucker die Stoffe zu ihrem Wachstum gewonnen haben.

Schluss.

Die durch vorstehende Arbeit gewonnenen Resultate möchte ich in folgenden Sätzen zusammenfassen.

1. Ich glaube bewiesen zu haben, dass das Verhalten der Spaltöffnungen für die Lebensdauer und Funktion der Laubblätter nicht von ausschlaggebender Bedeutung sein kann. Im Dunkeln schliessen die Blätter zwar ihre Spalten, aber jene im Dunkeln gewachsenen Blätter hatten sich weit länger am Leben erhalten, als Blätter am Licht in kohlensäurefreier Luft, welch' letztere die Spalten geöffnet zeigten. Eine Hinderung der Atmungsthätigkeit kann also nicht den Tod der Blätter zur Folge haben.
2. Blätter, welche an ihrer Assimilationsthätigkeit gehindert sind, sind trotsdem wohl imstande, sich bis zu einem gewissen Grad weiter zu entwickeln, wenn ihnen nur genügend Nahrungsstoffe von anderen assimilierenden Blättern durch den Stamm zugeführt werden können. Es geht jedenfalls das Blatt im Dunkeln wie in kohlensäurefreier Atmosphäre nicht aus Nahrungsmangel zugrunde.
3. Die Verhinderung der Assimilationsthätigkeit durch Verdunkelung hat weniger Einfluss auf die äussere

Gestalt der Blätter als auf den anatomischen Bau derselben, während Kohlensäureentziehung auf den anatomischen Bau der Blätter nicht verändernd wirkt.

4. Was das Absterben der Blätter anbetrifft, welche an ihrer Assimilationsthätigkeit gehindert sind, so möchte ich mich der Ansicht von Jost anschliessen. Ich bin der Überzeugung, dass die Chloroplasten, wenn ihnen die Fähigkeit genommen wird, die Kohlensäure zum Aufbau organischer Substanz innerhalb der Pflanzenzelle zu verwerten, pathologischen Veränderungen unterworfen sind. Diese wirken dann indirekt auf das Protoplasma, so dass auch dieses seine Lebensthätigkeit nicht mehr in normaler Weise verrichtet; wie Strassburger sagt, dass in den grünen Zellen das farblose Protoplasma von der Thätigkeit der Chlorophyllkörner abhängig ist.

Vorlicgende Arbeit wurde im Botanischen Institut zu Erlangen auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. M. Reess ausgeführt. Ich möchte nicht versäumen, an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Reess meinen herzlichsten Dank auszusprechen für das Wohlwollen, das er mir stets entgegengebracht hat und für die Unterstützung, die er mir bei Ausführung der Arbeit hat angedeihen lassen. Auch spreche ich meinen besten Dank den beiden Assistenten, Herrn Dr. Becker und Herrn Dr. Seiter für das mir bewiesene Entgegenkommen aus.

Litteratur.

Amelung: Über Etiolement. Flora 1894.

Batalin: Die Wirkung des Lichtes auf die Entwickelung der Blätter Botan. Zeitung 1871.

Baranetzky: Über den Einfluss einiger Bedingungen auf die Transpiration. Botan. Zeitung 1872.

Busch: Untersuchungen über die Frage, ob das Licht zu den unmittelbaren Lebensbedingen einzelner Teile oder der Pflanzen gehört. Erlanger Inaugural-Dissertation, Leipzig 1892.

Godlewsky: Zur Kenntnis der Formveränderung etiolierter Pflanzen. Botan. Zeitung 1879.

do. Abhängigkeit der Stärkebildung von Kohlensäuregehalt der Luft. Flora 1873.

Jost: Über die Abhängigkeit des Laubblattes von seiner Assimilationsthätigkeit. Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, No. 27, 1895.

Kraus: Über die Ursachen der Formveränderung etiolierter Pflanzen. Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, No. VII, 1869/70

Leitgeb: Beiträge zur Physiologie des Spaltöffnungsapparates. Mitteilungen aus dem bot. Institut Graz, Bd. I, 1886.

Max Dougal: Relation of the growths of foliage leaves. Botan. Zeitung 1897.

A. Meyer: Das Chlorophyllkorn. Leipzig 1883.

N. J. C. Müller: Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. VII.

Oels: Pflanzenphysiologische Versuche.

Pfeffer: Pflanzenphysiologie 1897. Leipzig 1897.

Prantl: Über den Einfluss des Lichtes auf das Wachstum der Blätter. Arbeiten des Botanischen Instituts zu Würzburg. Heft III, 1874.

Sachs: Über Stoffe, welche das Material zum Aufbau der Zellhaut liefern. Jahrbuch für wissenschaftl. Botanik, Bd. III.

do. Experimental Physiologie.

do. Beitrag zur Kenntnis der Ernährungsthätigkeit der Blätter. Arbeiten des Botanisch. Instituts zu Würzburg, Bd. III, 1888.

do. Über den Einfluss des Tageslichtes auf Neubildung und Entfaltung verschiedener Pflanzenorgane. Bot. Zeitung 1863.

Schellenberg: Beiträge zur Kenntnis von Bau und Funktion der Spaltöffnungen. Botan. Zeitung 1896.

Stahl: Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Botan. Zeitung 1894.

do. Über den Einfluss der Lichtintensität auf Struktur und Anordnung des Assimilationsparenchyms. Botan. Zeitung 1880.

Stebler: Untersuchung über das Blattwachstum. Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, No. 11, 1878.

Schwendener: Bau und Mechanik der Spaltöffnungen. Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1881.

Strasburger: Das botanische Praktikum. Jena 1887.

do. Lehrbuch der Botanik. Jena 1895.

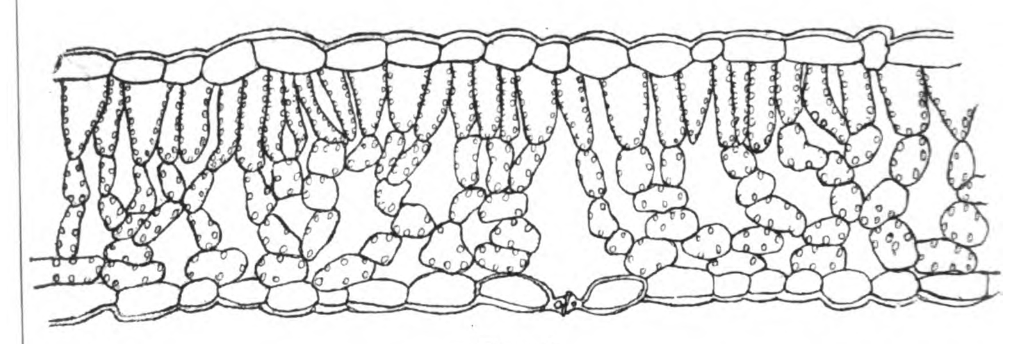
Vöchting: Über die Abhängigkeit des Laubblattes von seiner Assimilationsthätigkeit. Botan. Zeitung 1891.

Vines: Influence of light upon the growth of leaves. Arbeiten des botanischen Instituts zu Würzburg, No. II, 1882.

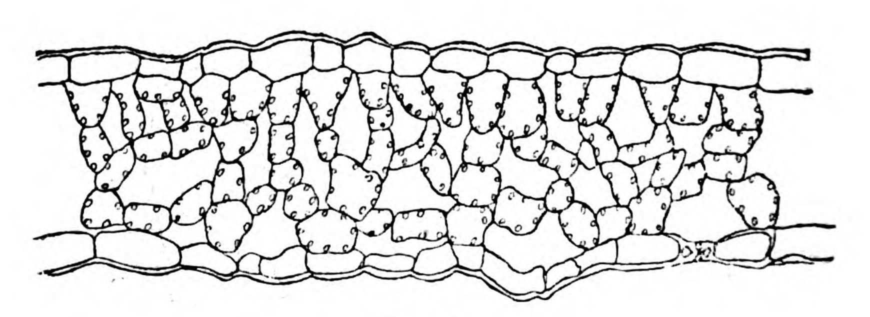
Erklärung der Tafel.

Die Zeichnungen sind mit dem Zeichenocular von Leitz angefertigt; die Vergrösserung 440fach.

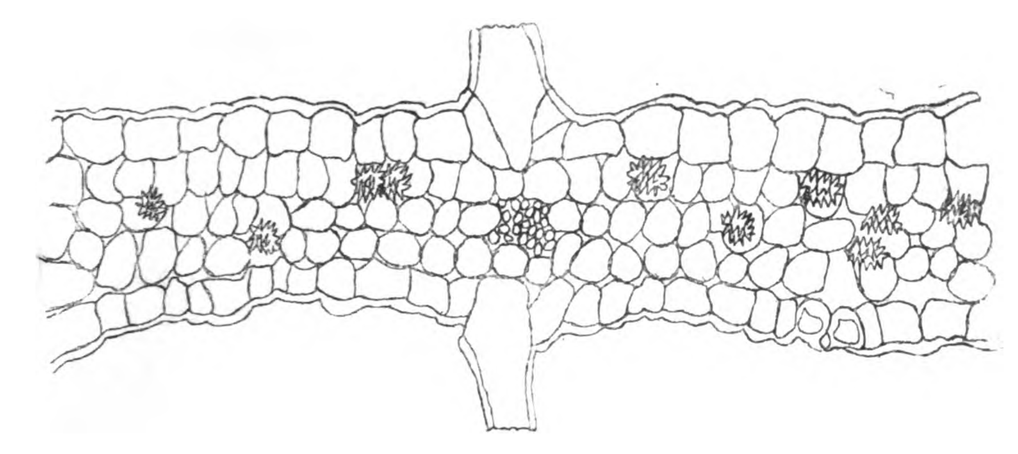
Figur 1. Phaseolus multiflorus, normales Blatt.
„ 2. do. do. Blatt im dunkeln gewachsen.
„ 3. Sparmannia africana, Blatt im dunkeln gewachsen.
„ 4. Ficus liberi, Blatt im Dunkeln gewachsen.



Figur 1.



Figur 2.



Figur 3.

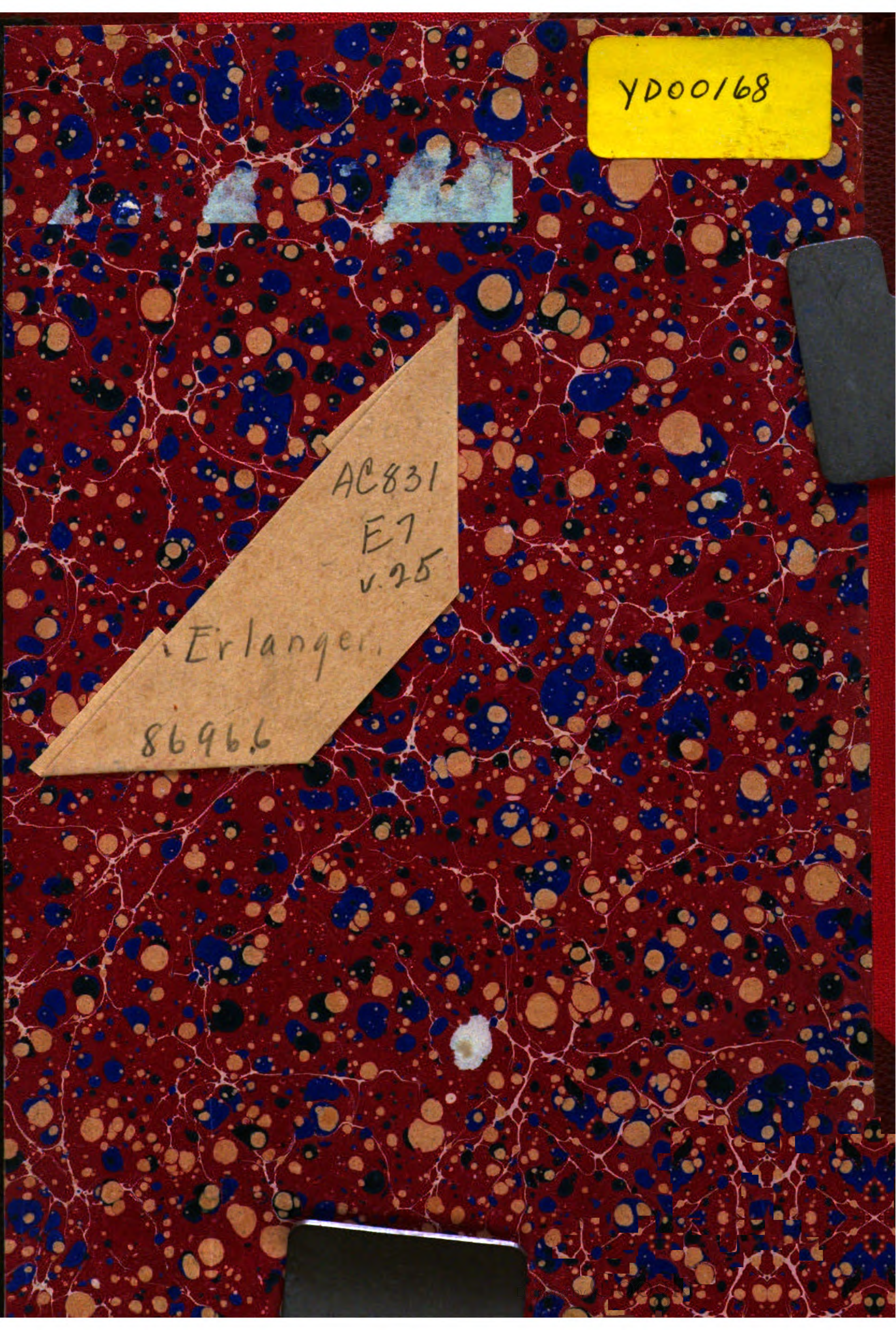
Figur 4.

Lebenslauf.

Am 18. Mai 1869 wurde ich, Curt Vogt, evangelisch, als Sohn des Kaufmanns Heinrich Vogt und dessen Ehefrau Liddy Vogt (geb. Dietz) zu Eisenach, Grossherzogtum Sachsen-Weimar, geboren. Hier besuchte ich das Realgymnasium und, nachdem ich daselbst die Berechtigung zum einjährig-freiwilligen Militärdienste erlangt hatte, widmete ich mich in der Hof-Apotheke des Herrn Dr. Hubler zu Altenburg der pharmazeutischen Laufbahn. Nach bestandenem Gehilfen-Examen im Jahre 1890 und nach Zurücklegung der vorgeschriebenen Konditionszeit, nahm ich meine Studien zunächst an der Universität Bonn, dann in Leipzig auf, und wurde im Herbst 1895 an der Universität Erlangen immatrikuliert. Nachdem ich hier zu Ostern 1896 das pharmazeutische Staatsexamen bestanden hatte, arbeite ich im Botanischen Institute des Herrn Professor Dr. M. Reess weiter.



UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY
THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE STAMPED BELOW
Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.
NOV 25 1921
4Dec51PA
27NOV'51LU
UCLA
INTERLIBRARY LOAN
14 DAYS AFTER RECEIPT
MAR 9 1970
Due end of FALL Quarter
subject to recall after —
IN STACKS
NOV 10'70
REC'D LD
20m-11,'20


YD00168
AC831
E7
v.25
Erlanger.
86966

